



UNIVERSITÀ DI PISA

PROGETTAZIONE DI SENSORI E MICROSISTEMI

ANDREA NANNINI

Anno accademico	2018/19
CdS	INGEGNERIA ELETTRONICA
Codice	313II
CFU	9

Moduli	Settore/i	Tipo	Ore	Docente/i
PROGETTAZIONE DI SENSORI E MICROSISTEMI	ING-INF/01	LEZIONI	90	GIUSEPPE BARILLARO ANDREA NANNINI MASSIMO PIOTTO

Obiettivi di apprendimento

Conoscenze

Gli studenti acquisiranno conoscenze di teoria, modelli e progettazione di sensori e microsistemi (sistemi microelettromeccanici - MEMS). Verranno discussi modelli analitici e numerici (agli elementi finiti) di casi di studio, compresi microsensori inerziali, acustici e chimici. Sarà considerata l'elettronica integrata per il condizionamento del segnale.

Modalità di verifica delle conoscenze

Esame scritto, orale ed eventuale progetto individuale con report scritto.

Capacità

Lo studente sarà in grado di progettare microsistemi integrati utilizzando modelli analitici e numerici.
Lo studente sarà in grado di utilizzare a scopo progettuale il software Comsol-multiphysics.

Modalità di verifica delle capacità

La verifica avverrà nel corso delle prove di esame e nella discussione del report scritto riguardante il progetto.

Comportamenti

Lo studente affronterà problematiche relative alla progettazione di sistemi microelettromeccanici e quindi svilupperà competenze tipicamente interdisciplinari comprendenti aspetti elettronici, meccanici, fisici e chimici.

Modalità di verifica dei comportamenti

La verifica avverrà nel corso delle prove di esame e nella discussione del report scritto riguardante il progetto.

Prerequisiti (conoscenze iniziali)

Conoscenze di matematica, chimica e fisica di base. Conoscenze di tecnologie microelettroniche, elettronica e microelettronica.

Indicazioni metodologiche

Il corso viene tenuto in italiano utilizzando slides che sono messe a disposizione dello studente tramite il sito e-learning. Le slides sono commentate e integrate con calcoli e precisazioni scritte a mano. Gli studenti possono usufruire del ricevimento e della mail del docente per chiarimenti tematici e organizzativi.

Programma (contenuti dell'insegnamento)

- 1 Premessa matematica essenziale
 - 1.1 Prodotti tra vettori
 - 1.1.1 Prodotto scalare
 - 1.1.2 Prodotto vettoriale
 - 1.2 Proprietà di trasformazione di vettori
 - 1.3 Tensori del secondo ordine
 - 1.3.1 Prodotto diadico



UNIVERSITÀ DI PISA

- 1.3.2 Prodotto scalare tra tensori del secondo ordine
- 2 Statica e dinamica di sistemi elastici
 - 2.1 Il continuo
 - 2.2 Corpi elastici deformabili
 - 2.2.1 Spostamento
 - 2.2.2 Spostamento differenziale
 - 2.2.3 Gradiente di spostamento
 - 2.3 Deformazioni
 - 2.3.1 Osservazione sulla deformazione
 - 2.3.2 Semplificazioni
 - 2.3.3 Ancora sulla relazione tra S ed e
 - 2.4 Notazione Simbolica
 - 2.5 Notazione ridotta (S)
 - 2.5.1 Operatore σ in forma matriciale
 - 2.6 Forze e tensore di stress
 - 2.6.1 Equazione della dinamica I
 - 2.6.2 Tensore di stress
 - 2.6.3 Interpretazione geometrica del vettore e del tensore di stress
 - 2.6.4 Casi speciali di stress
 - 2.6.5 Tensore di stress di Maxwell
 - 2.6.6 Equazione della dinamica II
 - 2.7 Notazione ridotta (T)
Tensore di stress di Maxwell in notazione ridotta
 - 2.8 Legge di Hooke
Notazione simbolica
 - 2.8.1 Materiale isotropo
 - 2.8.2 Legge di Hooke in presenza di dilatazioni termiche
 - 2.9 Energia di deformazione
 - 2.10 Modelli termodinamici di sensori e microsistemi
 - 2.10.1 Termodinamica dei solidi
 - 2.10.2 Espressioni per dW
- Solido deformabile di volume unitario e costante, sottoposto a campo elettromagnetico
- Sistema aperto rigido
- Sistema elettromeccanico (attuazione elettrica)
- Sistema elettromeccanico (attuazione magnetica)
- 3 Elettromeccanica a parametri concentrati
 - 3.1 Parametri concentrati
 - 3.2 Variabili coniugate in potenza
 - 3.3 Elementi circuitali generalizzati I - reti elettriche
 - 3.3.1 Induttanza generalizzata
 - 3.3.2 Capacità generalizzata
 - 3.4 Elementi circuitali generalizzati II - sistema meccanico
 - 3.4.1 La molla ideale
 - 3.4.2 La massa ideale
 - 3.4.3 Smorzatore ideale
 - 3.5 Circuito equivalente di un sistema meccanico
 - 3.6 Dinamica di un sistema del secondo ordine
 - 3.7 Circuito equivalente di un sistema elettromeccanico
- Rete equivalente
 - 3.7.1 Appendice: Circuiti equivalenti per piccolo segnale
- La matrice di trasmissione
- Esempio: trasformatore ideale
- 4 L'attuatore elettrostatico
 - 4.1 Attuatore a piatti piani
 - 4.1.1 Alimentazione in carica
 - 4.1.2 Alimentazione in tensione
 - 4.2 Comb finger
 - 4.2.1 Alimentazione in tensione
 - 4.3 Linearizzazione della risposta
- 5 Strutture
 - 5.1 Ipotesi di De Saint Venant e caratteristiche della sollecitazione
 - 5.2 Travi piane ad asse curvilineo
 - 5.3 Caratteristiche di sollecitazione e stato di tensione
 - 5.3.1 Flessione di barre
 - 5.3.2 Sollecitazioni torsionali
 - 5.4 Combinazioni di strutture elastiche
 - 5.5 Attuatore termo-elastico
 - 5.6 Membrane e Piatti
 - 5.7 Dinamica delle strutture



UNIVERSITÀ DI PISA

Vibrazioni libere di una barra con due configurazioni di vincoli

Trasformazioni di quantità espresse in forma ridotta

6 Microsistemi Piezoresistivi

6.1 Piezoresistività

6.1.1 Piezoresistività nei materiali cristallini

6.1.2 Trasformazione del sistema di riferimento

6.2 Estensimetri

Espressione approssimata

7 Microsistemi inerziali

7.1 Accelerometri

7.1.1 Accelerometro quasi statico a loop aperto

7.1.2 Accelerometri a loop chiuso

Accelerometro con uscita e retroazione PWM

Funzioni complementari nella catena di azione

7.2 Giroscopi

7.2.1 Giroscopi microelettromeccanici vibranti

Effetti dello spreading in frequenza

7.2.2 Valutazione dell'influenza della accelerazione angolare

8 Acustica Fisica

8.1 Equazioni del campo acustico

8.2 Equazione di Christoffel

8.3 Onde Piane

9 Piezoelettricità

9.1 Equazioni costitutive

9.1.1 Equazione costitutiva di un materiale dielettrico

9.1.2 Equazioni costitutive piezoelettriche

9.1.3 Sistemi di equazioni costitutive piezoelettriche

9.2 Equazione di Christoffel in materiali piezoelettrici

10 Il trasduttore piezoelettrico

10.1 Trasduttore piezoelettrico sottile

10.1.1 Valutazione dei termini di accoppiamento piezoelettrico

10.1.2 Andamento delle variabili indipendenti

Soluzione per la corrente

Soluzione generale per la velocità

10.1.3 Andamento delle variabili dipendenti

Calcolo della tensione alla porta elettrica

Calcolo delle forze sulle facce del trasduttore

10.2 Circuito equivalente di Mason

10.2.1 Il trasduttore piezoelettrico trasmettitore e il filtro piezoelettrico

Caso di backing rigido

10.2.2 Risonatore libero

Filtri piezoelettrici

10.3 La rete elettrica equivalente

10.3.1 Trasmettitore

10.3.2 Ricevitore

10.3.3 La funzione di trasferimento completa

11 Sensori di temperatura e microsistemi termici

11.1 Sensori resistivi di temperatura

11.1.1 Sensori a conduttore metallico

11.1.2 Termistori

11.1.3 Circuiti utilizzanti sensori resistivi

Problema dell'autoriscaldamento in sensori resistivi

11.2 Sensori di temperatura a giunzione p-n

11.3 Effetti termoelettrici

11.3.1 Effetto Peltier

11.3.2 Effetto Seebeck

11.3.3 Effetto Thomson

11.4 Modello microscopico degli effetti termoelettrici

11.5 Termocoppie

Coefficiente di Seebeck di una termocoppia

Leggi delle termocoppie

11.5.1 Utilizzo delle termocoppie per la misura della temperatura

11.6 Verso il microsistema termico

Bibliografia e materiale didattico

Manuale "Microsistemi", Pisa University Press, 2017.

Lecture notes, slides e materiali diversi distribuiti tramite il sito del corso (servizio e-learning <https://elearn.ing.unipi.it/>).



UNIVERSITÀ DI PISA

[Indicazioni per non frequentanti](#)

Nessuna variazione per la prova scritta e orale. I non frequentanti non potranno svolgere il progetto che prevede l'utilizzo del software Consol Multiphysics disponibile nelle aule informatiche del centro di calcolo e utilizzato nelle esercitazioni.

[Modalità d'esame](#)

Prova scritta della durata di 1 ora consistente di due semplici esercizi. La votazione conseguita non pone limiti al proseguimento con la prova orale. Per gli studenti che hanno scelto di fare il progetto finale che abbiano conseguito nello scritto una votazione sufficiente la prova orale verterà sulla discussione del progetto. Per gli studenti che hanno deciso di non eseguire il progetto finale la prova orale consisterà in almeno tre domande sugli argomenti svolti nel corso.

[Altri riferimenti web](#)

No

Ultimo aggiornamento 11/09/2018 11:23